

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-176210

(43)Date of publication of application : 21.06.2002

(51)Int.Cl.

H01L 43/00

G01R 33/02

G11B 5/33

H01F 10/06

(21)Application number : 2000-375397

(71)Applicant : ALPS ELECTRIC CO LTD

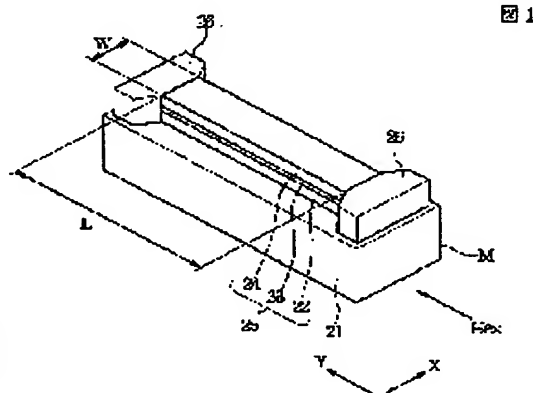
(22)Date of filing : 11.12.2000

(72)Inventor : NAKABAYASHI AKIRA

**(54) MAGNETO-IMPEDANCE EFFECT ELEMENT AND METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To reduce resistance and power consumption in a magneto-impedance effect element and to obtain efficient change in the output voltage even if a drive voltage is low, by constructing a magneto-sensitive section in such a manner that a soft magnetic section is brought into contact with a conductive section having specific resistance lower than that of the soft magnetic section.

**SOLUTION:** A magneto-sensitive section 25 is formed by alternately stacking soft magnetic thin films 22, 24 and a conductive thin film 23. When an alternating drive current is supplied to the section 25, the current is divided into currents flowing through the films 22, 24 and a current flowing through the film 23. As a result, the DC resistance in the section 25 is decreased when the alternating drive current flows, thereby reducing the power consumption in the element.



(19) 日本国特許庁 (J P) (12) 公開特許公報 (A) (11) 特許出願公開番号  
特開2002-176210  
(P2002-176210A)  
(43) 公開日 平成14年6月21日 (2002.6.21)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>  
H01L 43/00  
G01R 33/02  
G11B 5/33  
H01F 10/06

FI  
H01L 43/00  
G01R 33/02  
G11B 5/33  
H01F 10/06

チコード (参考)  
2G017  
D 5E049

審査請求 未請求 請求項の範囲 39 O L (全 24 頁)

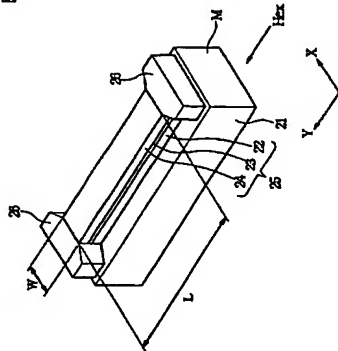
(21) 出願番号 特開2000-375397 (P2000-375397)  
(22) 出願日 平成12年12月11日 (2000.12.11)

(71) 出願人 000010088  
アルプス電気株式会社  
東京都大田区菅谷大塚町1番7号  
(72) 発明者 中林 英  
東京都大田区菅谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内  
(74) 代理人 100085453  
弁理士 野▲崎▼ 剛夫  
Fターム (参考) 23017 A02 A507 A039 A046 A047 A053 B03  
B249 A01 A021 B418 C002 C001

(54) 【発明の名称】 磁気インピーダンス効果素子およびその製造方法

(57) 【要約】  
【課題】 従来の磁気インピーダンス効果素子は、直流抵抗値が高く、消費電力が大きかった。  
【解決手段】 感磁部25を軟磁性薄膜22、24と導電性薄膜23とが交互に積層されたものとして形成する。感磁部25に駆動交流電流が与えられたときに、この駆動交流電流は軟磁性薄膜22、24内を流れる電流と導電性薄膜23内を流れる電流とに分れて流れる。その結果、前記駆動交流電流が流れるときの感磁部25の直流抵抗値が低くなり、磁気インピーダンス効果素子の消費電力を小さくすることができる。

図1



【特許請求の範囲】  
【請求項1】 非磁性材料からなる基板上に、磁気インピーダンス効果を有する感磁部と、前記感磁部に駆動交流電流を与える電極部とが設けられた磁気インピーダンス効果素子において、  
前記感磁部は、軟磁性材料で形成された軟磁性体部、前記電極部は、導電性材料で形成された導電性体部とを有し、前記軟磁性体部より比抵抗の低い導電性体部とを有し、前記軟磁性体部と前記導電性体部とが、少なくとも部分的に接していることを特徴とする磁気インピーダンス効果素子。  
【請求項2】 前記軟磁性体部と、前記導電性体部とが交互に積層されている請求項1記載の磁気インピーダンス効果素子。  
【請求項3】 最上層と最下層が前記軟磁性体部であり、前記最上層と前記最下層の軟磁性体部が、少なくとも素子幅方向の端部において磁気的に結合されている請求項2記載の磁気インピーダンス効果素子。  
【請求項4】 前記感磁部の上面の素子幅寸法が、前記感磁部の底面の素子幅寸法より短い請求項1ないし3のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。  
【請求項5】 前記感磁部は、前記最長の表面から離れるにつれて、素子幅方向寸法が徐々に短くなる請求項4記載の磁気インピーダンス効果素子。  
【請求項6】 前記軟磁性体部と導電性体部とが絶縁層によって電気的に絶縁され、前記駆動交流電流が前記導電性体部に流れる請求項1ないし5のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。  
【請求項7】 駆動交流電流が与えられている前記感磁部の素子長手方向に外部磁界を印加したときに、前記感磁部の両端からの出力電圧を最大とする前記外部磁界の大きさの絶対値が400 (A/m) 以下である請求項1ないし6のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。  
【請求項8】 前記感磁部の両端からの出力電圧を最大とする前記外部磁界の大きさの絶対値が320 (A/m) 以下である請求項7に記載の磁気インピーダンス効果素子。  
【請求項9】 前記感磁部の両端からの出力電圧を最大とする前記外部磁界の大きさの絶対値が160 (A/m) 以下である請求項7に記載の磁気インピーダンス効果素子。  
【請求項10】 前記感磁部の素子幅Wと素子長さLの比 (アスペクト比) W/Lが、0.1以下である請求項1ないし9のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。  
【請求項11】 前記感磁部の素子幅Wと素子長さLの比 (アスペクト比) W/Lが、0.05以下である請求項10に記載の磁気インピーダンス効果素子。  
【請求項12】 前記感磁部の素子幅Wと素子長さLの比 (アスペクト比) W/Lが、0.03以下である請求項10に記載の磁気インピーダンス効果素子。

項10に記載の磁気インピーダンス効果素子。  
【請求項13】 前記軟磁性体部は、単磁区構造或いは多磁区構造を有し、各磁区において磁気メモメントの素子長手方向の成分と素子幅方向の成分を比較したときに、前記素子長手方向の成分の方が大きい磁区の総面積と、前記素子幅方向の成分の方が大きい磁区の総面積とが等しい請求項1ないし12のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。  
【請求項14】 前記軟磁性体部は、単磁区構造或いは多磁区構造を有し、各磁区において磁気メモメントの素子長手方向の成分と素子幅方向の成分を比較したときに、前記素子長手方向の成分の方が大きい磁区の総面積より、前記素子幅方向の成分の方が大きい磁区の総面積より大きい請求項1ないし12のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。  
【請求項15】 前記感磁部の素子長手方向と平行な方向にバイアス磁界を印加する磁性体を有する請求項1ないし14のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。  
【請求項16】 前記軟磁性体部は、組成式が  $F_{0.9}M_1O$  で表され、 $M_1$  がアルファ相を主体とした軟磁性軟磁性合金薄膜である請求項1ないし15のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、 $M_1$  は、T、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Wと希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、 $h$ 、 $i$ 、 $j$  は  $0 \leq h \leq 70$ 、 $0 \leq i \leq 30$ 、 $0 \leq j \leq 40$ 、 $h+i+j=100$  の関係を満足するものである。  
【請求項17】 前記軟磁性体部は、組成式が  $(Co_{1-x}Tc_x)M_2O_2$  で表される軟磁性軟磁性合金薄膜である請求項1ないし15のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、元素Tは、Fe、Niのうちのどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、 $x$  は、 $0 \leq x \leq 1$  から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比は、 $c$  が  $0 \leq c \leq 0.7$ 、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $w$  は  $a$  1 % で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $0 \leq y+z+w \leq 60$  の関係を満足し、残部が  $a$  である。  
【請求項18】 前記軟磁性体部は、組成式が  $T_{100-d-e-f-g}X_dM_2Z_fO_2$  で表され、 $bccc-Fe$ 、 $bccc-FeCo$ 、 $bccc-Co$  の1種または2種以上の結晶相を主体とした軟磁性軟磁性合金薄膜である請求項1ないし15のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、元素Tは、Fe、Coのうちのどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Xは、Si、Alのうちのどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、 $d$  は  $0 \leq d \leq 100$ 、 $e$  は  $0 \leq e \leq 100$ 、 $f$  は  $0 \leq f \leq 100$ 、 $g$  は  $0 \leq g \leq 100$  の関係を満足するものである。

り、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれた2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれた1種または2種以上の元素であり、d、e、f、gはa1%で、 $0 \leq d \leq 25$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0.5 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 100$ の関係を満足するものである。

【請求項19】 前記軟磁性体部は、組成式が $100-x-y-z-f-g-Si_0.1-qMg_0.2Zr_0.1Q_0.1$ で表され、 $bcc-F_0$ 、 $bcc-F_0$ 、 $bcc-Co$ の1種または2種以上の結晶相を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜である請求項1ないし15のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、元素Tは、F、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれた1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれた1種または2種以上の元素であり、p、q、e、f、gはa1%で、 $8 \leq p \leq 15$ 、 $0 \leq q \leq 10$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0.5 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 100$ の関係を満足するものである。

【請求項20】 前記軟磁性体部は、組成式が $(F_0)_{1-x-y-z-f-g}Co_0.1(Si_{1-b}Bb)_xMg_y$ で表される非晶質軟磁性合金薄膜または薄膜である請求項1ないし15のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、MはCr、Ruのうちいずれか一方、あるいは両方を含む元素であり、組成比を表すa、bは0、0.5 $\leq$ a $\leq$ 10、0.1、0.2 $\leq$ b $\leq$ 0.8であり、x、yはa1%で $10 \leq x \leq 35$ 、 $0 \leq y \leq 7$ の関係を満足するものである。

【請求項21】 前記軟磁性体部は、組成式が $Co_0.1T_0.1Mn_0.1$ で表され、アモルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜である請求項1ないし15のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、l、m、nはa1%で、 $70 \leq l \leq 90$ 、 $5 \leq m \leq 21$ 、 $6 \leq n \leq 15$ 、 $1 \leq m/n \leq 2.5$ の関係を満足するものである。

【請求項22】 前記軟磁性体部は、組成式が $Co_0.2T_0.1Nb_0.1$ で表され、アモルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜である請求項1ないし15のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、e、b、cはa1%で、 $78 \leq e \leq 91$ 、 $0.5 \leq b/n \leq 0.8$ の関係を満足するものである。

【請求項23】 (a) 非磁性材料からなる基板上に、軟磁性薄膜と前記軟磁性薄膜よりも比抵抗の低い導電性薄膜を交互に成膜する工程と、(b) 前記(a)工程で形成された多層膜から感磁部をパターン形成する工程と、

(c) 前記感磁部を、この感磁部の素子幅方向の静磁場中で熱処理する工程と、を有することを特徴とする磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項24】 (d) 非磁性材料からなる基板上に、軟磁性薄膜と前記軟磁性薄膜よりも比抵抗の低い導電性薄膜を交互に成膜する工程と、(e) 前記(d)の工程によって形成された多層膜を、静磁場中で熱処理する工程と、

(f) 前記軟磁性薄膜の方向を素子幅方向とするように、前記多層膜をパターン形成して感磁部を形成する工程と、を有することを特徴とする磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項25】 前記(a)または(d)の工程において、前記軟磁性薄膜を前記(c)または(e)の工程における静磁場の方向と同じ方向の静磁場中で成膜する請求項23または24に記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項26】 前記多層膜の最上層と最下層を前記軟磁性薄膜とし、前記最上層の軟磁性薄膜と前記最下層の軟磁性薄膜とを、少なくとも素子幅方向の端部において磁気的に結合させる請求項23ないし25のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項27】 前記多層膜をパターン形成する際に、前記多層膜の最上層にフラットレジストを積層し、ウェットエッチング法によって前記多層膜をエッチングすることにより、上面の素子幅方向寸法が底面の素子幅方向寸法より短い感磁部を形成する請求項23ないし26のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項28】 前記多層膜を形成するときに、前記軟磁性薄膜と導電性薄膜との間に絶縁層を形成し、前記導電性薄膜のみに接続される電極部を形成する工程を含む請求項23ないし27のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項29】 前記軟磁性薄膜を、組成式が $(F_0)_{1-x-y-z-f-g}Co_0.1$ で表され、アモルファス構造を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜として形成する請求項23ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、T、a、Wと希土類元素から選ばれた1種あるいは2種以上の元素であり、h、i、jはa1%で、 $45 \leq h \leq 70$ 、 $0.5 \leq i \leq 30$ 、 $70 \leq j \leq 40$ 、 $h+i+j=100$ の関係を満足するものである。

【請求項30】 前記軟磁性薄膜を、組成式が $(Co_0.1T_0.1)_{1-x-y-z-f-g}O_0.1$ で表される微結晶軟磁性合金薄膜として形成する請求項23ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、元素Tは、F、Co、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ge、Gaと希土類元素から選ばれた1種または2種以

上の元素であり、Xは、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Os、Ir、Pt、Pdから選ばれた1種あるいは2種以上の元素であり、組成比は、cが $0 \leq c \leq 0$ 、7、x、y、z、wはa1%で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ の関係を満足し、残部がxである。

【請求項31】 前記軟磁性薄膜を、組成式が $100-x-y-z-f-g-Si_0.1-qMg_0.2Zr_0.1Q_0.1$ で表され、 $bcc-F_0$ 、 $bcc-F_0$ 、 $bcc-Co$ の1種または2種以上の結晶相を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜として形成する請求項23ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、元素Tは、F、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Xは、Si、Alのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれた1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれた1種または2種以上の元素であり、d、e、f、gはa1%で、 $0 \leq d \leq 25$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0.5 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 100$ の関係を満足するものである。

【請求項32】 前記軟磁性薄膜を、組成式が $100-p-q-r-f-g-Si_0.1-qMg_0.2Zr_0.1Q_0.1$ で表され、 $bcc-F_0$ 、 $bcc-F_0$ 、 $bcc-Co$ の1種または2種以上の結晶相を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜として形成する請求項23ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、元素Tは、F、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれた1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれた1種または2種以上の元素であり、p、q、e、f、gはa1%で、 $8 \leq p \leq 15$ 、 $0 \leq q \leq 10$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0.5 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 100$ の関係を満足するものである。

【請求項33】 前記軟磁性薄膜を、組成式が $Co_0.1T_0.1Mn_0.1$ で表され、アモルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜として形成する請求項23ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、l、m、nはa1%で、 $70 \leq l \leq 90$ 、 $5 \leq m \leq 21$ 、 $6 \leq n \leq 15$ 、 $1 \leq m/n \leq 2.5$ の関係を満足するものである。

【請求項34】 前記軟磁性薄膜を、組成式が $(Co_0.2T_0.1Nb_0.1)_{1-x-y-z-f-g}O_0.1$ で表されるアモルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜として形成する請求項23ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、a、b、cはa1%で、 $78 \leq e \leq 91$ 、 $0.5 \leq b/n \leq 0.8$ の関係を満足するものである

る。

【請求項35】 (g) 軟磁性材料の溶融合金を冷却ロール上に射出させて接合急冷することにより軟磁性薄膜を形成する工程と、

(h) 前記軟磁性薄膜の少なくとも一方の面に前記軟磁性薄膜よりも比抵抗の低い材料によって形成される導電性薄膜を形成する工程と、

(i) 前記(h)の工程によって形成された軟磁性薄膜を切断し、所定の値の素子幅Wと素子長さLの比(アスペクト比)W/Lにパターン形成する工程と、

(j) 前記(i)の工程によって形成された、前記導電性薄膜が積層された前記軟磁性薄膜を、基板上に軟磁性薄膜と導電性薄膜とが交互に積層するように、重ねる工程と、

(k) 前記軟磁性薄膜を、素子幅方向の静磁場中で熱処理する工程と、を有することを特徴とする磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項36】 前記(i)の工程において、前記軟磁性薄膜と前記導電性薄膜との間に絶縁層を形成し、また、前記(j)の工程の後に、前記導電性薄膜のみに接続される電極部を形成する工程を有する請求項35に記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項37】 前記軟磁性薄膜または前記軟磁性薄膜を、組成式が $(F_0)_{1-x-y-z-f-g}Co_0.1(Si_{1-b}Bb)_xMg_y$ で示される非晶質軟磁性合金薄膜または薄膜として形成する請求項23ないし28、35、36のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、MはCr、Ruのうちいずれか一方、あるいは両方を含む元素であり、組成比を表すa、bは0、0.5 $\leq$ a $\leq$ 10、0.1、0.2 $\leq$ b $\leq$ 0.8であり、x、yはa1%で $10 \leq x \leq 35$ 、 $0 \leq y \leq 7$ の関係を満足するものである。

【請求項38】 前記感磁部の素子長手方向に、駆動電流を流すとともに外部磁界を印加したときに、前記感磁部の両端からの出力電圧を最大とする前記外部磁界の大きさの絶対値が400 (A/m) 以下になるように、素子幅Wと素子長さLの比(アスペクト比)W/Lを設定して前記感磁部をパターン形成する請求項23ないし37のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項39】 前記感磁部のアスペクト比を0.1以下に設定する請求項38記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、磁気センサとして利用できる磁気インピーダンス効果素子に係り、特に、磁気インピーダンス効果素子の抵抗値を低くできて、消費電力を低くでき、また、バイアス磁界を小さくして、良好な世界線感度を有する磁気インピーダンス効

果素子及びその製造方法に関する。

【0002】  
【従来の技術】近年、情報機器、制御機器などの地連な発展に伴って、従来の磁界検出型のものより更に小型、高感度且つ高速度特性（高周波動作）の磁界センサが求められ、磁気インピーダンス効果（Magnetoresistance-Effect）を有する素子（磁気インピーダンス効果素子）が目玉されるようになってきている。

【0003】磁気インピーダンス効果素子は、微小交流電流をワイヤ状、リボン状、または薄膜状に形成された磁性線に印加することによって生じるインピーダンスによる出力電圧が外部印加磁界によって変化することを基本原理としている素子である。

【0004】外部磁界の印加による軟磁性材料からなる磁界部のインピーダンスの変化は、磁性材料に交流電流を流したときに、交流電流がその表面近くを流れようとする「表皮効果」が、外部磁界によって変化するためであることが知られている。

【0005】図29は、従来の磁気インピーダンス効果素子の斜視図である。図29の磁気インピーダンス効果素子Mは、アルミニウムカーバイドなどの非磁性材料からなる基板11上に、軟磁性材料をスパッタ法や蒸着法などによって、薄膜形成することにより形成された感磁部12、および感磁部12の両端部に接合されているCuなどの導電性材料により形成された電極部13、13によって構成されている。感磁部12は、略長方形または楕円状にパターン形成されている。なお、図29の感磁部12の素子長さをし、素子幅をWとする。

【0006】図30は、従来の磁気インピーダンス効果素子を用いて構成した磁界検出回路を示す回路図である。図30に示す回路において、感磁部12に電源EaからMHz帯の交流電流Iacを印加している状態である。感磁部12の素子長さ方向に外部磁界Hoxが印加されると、感磁部12両端に素子固有のインピーダンスによる出力電圧Emiが発生し、出力電圧Emiの振幅が外部磁界Hoxの強度に対応して数10%の範囲で変化する。

【0007】  
【発明が解決しようとする課題】従来の磁気インピーダンス効果素子では、感磁部12が単層の軟磁性薄膜からなっている。駆動交流電流は、感磁部12の中を流れ、

【0008】しかし、感磁部12を形成する軟磁性薄膜は、比抵抗の高い材料によって形成されることが多く、直流電流損失が大きくなる傾向があった。また、軟磁性薄膜が比抵抗の高い材料によって形成されると、駆動交流電流が流れるとききの表皮効果が厚くなり、感磁部の底面の素子幅方向寸法より短くすると、駆動力を分散でき、インピーダンスの低下が小さくなる。従って、特に駆動

電圧が低いとき充分な出力電圧の変化量を得ることができなかつた。その結果、磁界に対する充分な出力変化量を得ることができず、磁界検出感度が小さくなるという問題が生じていた。

【0009】本発明は、上記従来の課題を解決するためのものであり、前記感磁部を、軟磁性体部と前記軟磁性体部よりも比抵抗の低い導電体部とが接しているものとすることにより、磁気インピーダンス効果素子の底抵抗を低くでき、消費電力を低くでき、かつ駆動電圧が低いときでも充分な出力電圧の変化量を得ることのできる磁気インピーダンス効果素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、非磁性材料からなる基板11上に、磁気インピーダンス効果を有する感磁部と、前記感磁部に駆動交流電流を与えるための電極部とが設けられた磁気インピーダンス効果素子において、前記感磁部は、軟磁性材料で形成された軟磁性体部、前記軟磁性体部よりも比抵抗の低い導電体部とを有し、前記軟磁性体部と前記導電体部とが、少なくとも部分的に接していることを特徴とするものである。

【0011】前記感磁部が、前記軟磁性体部と前記軟磁性体部よりも比抵抗の低い導電体部とが接した構造を有している、この駆動交流電流は前記軟磁性体部内を流れる電流と前記導電体部内を流れる電流とに分れて流れる。その結果、前記駆動交流電流が流れるときの前記感磁部の直流抵抗値が低くなり、磁気インピーダンス効果素子の消費電力を小さくすることができ、

【0012】また、本発明では、前記感磁部が、透磁率の高い前記軟磁性体部と導電率の高い前記導電体部とが接した構造を有しているために、前記感磁部内を流れる駆動交流電流の表皮厚さが薄くなり、直流抵抗値が低くなって大きな磁気インピーダンス効果を生じさせることができ、低駆動電圧であっても磁界に対する充分な出力電圧の変化量を得ることができ、

【0013】本発明の磁気インピーダンス効果素子では、前記感磁部を、前記軟磁性体部と前記導電体部とが交互に積層されているものとすることができ、

【0014】また、前記感磁部の、最上層と最下層が前記軟磁性体部であり、前記最上層と前記最下層の軟磁性体部が、少なくとも素子幅方向の端部において磁気的に結合されている。

【0015】なお、特に前記感磁部が前記軟磁性体部と前記導電体部とが交互に積層されたものであるときに、前記感磁部の厚層が厚くなると、駆動力が大きくなって、前記感磁部が基板から剥がれやすくなる。そこで、前記感磁部の上面の素子幅方向寸法を、前記感磁部の底面の素子幅方向寸法より短くすると、駆動力を分散でき、前記感磁部が基板から剥がれることを防止でき、ま

た、前記感磁部を安定した形状に維持できる。例えば、前記感磁部を、前記基板の表面から離れるにつれて、素子幅方向寸法が徐々に短くなるものとして形成することができる。

【0016】また、前記軟磁性体部と導電体部とが絶縁層によって電気的に絶縁され、前記駆動交流電流が前記導電体部のみに流れることが保たしい。

【0017】前記軟磁性体部と導電体部とが絶縁層によって電気的に絶縁され、前記駆動交流電流が前記導電体部のみに流れると、前記駆動交流電流による磁場を効率よく発生させることができ、より顕著な磁気インピーダンス効果を引き出すことが可能となる。

【0018】また、本発明では、駆動交流電流が与えられている前記感磁部の素子長手方向に外部磁界を印加したときに、前記感磁部の両端からの出力電圧を最大とする前記外部磁界の大きさの絶対値が400（A/m）以下であることが好ましい。

【0019】駆動交流電流が与えられている前記感磁部の素子長手方向に前記外部磁界を印加し、この外部磁界の大きさを最大化させたときの、前記感磁部からの出力電圧の最大化率は、出力電圧が最大値となる付近で最も大きくなる。従って、前記感磁部からの出力電圧を最大とする前記外部磁界の大きさの絶対値が小さくなっていくと、前記外部磁界の大きさが0付近であるときの、出力電圧の変化率が小さくすることができる。

【0020】特に、前記感磁部の両端からの出力電圧を最大とする前記外部磁界の大きさの絶対値が400（A/m）以下になると、磁気インピーダンス効果素子の両端に、成いは磁気インピーダンス効果素子に重ねて、形成された磁性材料からなる磁性体から発生する磁界を、バイアス磁界として用いることが可能になる。

【0021】また、バイアス磁界を前記感磁部の両端に巻回すコイルによって与える場合でも、前記コイルの巻回数が少なくなると、感磁部を製造する際の工程を簡略化することができるようになる。

【0022】また、磁気インピーダンス効果素子を出気ヘッドや磁頭磁界検出器に適用する際に必要な小型化も容易になる。

【0023】さらに、前記バイアス磁界を発生させたときに前記コイルに与える直流電流も小さくすることができ、磁気インピーダンス効果素子の消費電力化も容易になる。

【0024】なお、上記感磁部は、通常、略長方形状もしくは直線状に形成されるが、U字型や、つづら折れ状に形成してもよい。このときの素子長手方向とは、前記感磁部のものとも長い直線部分の延長方向であり、駆動交流電流によって発生する世界の磁場方向に対して垂直な方向に一致する。

【0025】また、前記感磁部の両端からの出力電圧を

最大とする前記外部磁界の大きさの絶対値が320（A/m）以下であることが好ましく、より好ましくは、前記感磁部の両端からの出力電圧を最大とする前記外部磁界の大きさの絶対値が160（A/m）以下であることである。

【0026】また、本発明では、前記感磁部の素子幅Wと素子長さLの比（アスペクト比）W/Lが、0.1以下であることが好ましい。

【0027】本発明の発明者は、磁気インピーダンス効果素子の感磁部を形成するときに、前記感磁部の素子幅Wと素子長さLの比（アスペクト比）W/Lを小さくしていくと、磁気インピーダンス効果素子の磁界検出感度が向上することを発見した。特に、前記アスペクト比が、0.1以下になると、磁気インピーダンス効果素子の磁界検出感度が著しく向上することを見出した。

【0028】前記感磁部は高周波数の交流電流によって駆動されるので、表皮効果が強く現れる。このとき、前記感磁部の素子幅W、素子長さL、比抵抗ρ、磁場波数ω、素子幅方向の透磁率μと前記感磁部のインピーダンスの大きさ|Z|との間には、次の（数1）によって示される関係がある。

【数1】

$$|Z| = \left( \frac{L \sqrt{\rho \omega}}{2W} \right) \sqrt{\mu}$$

（数1）から、前記感磁部の素子幅W、素子長さL、比抵抗ρ、磁場波数ωを一定としたとき、前記感磁部のインピーダンスの大きさ|Z|は、素子幅方向の透磁率μの1/2乗に比例することがわかる。素子長手方向に交流電流が与えられ、素子幅方向に磁化されている前記感磁部の素子長手方向に、外部磁界が印加されると、前記感磁部の素子幅方向の透磁率μが変化し、前記感磁部のインピーダンスの大きさ|Z|が変化する。この、前記感磁部のインピーダンスの大きさ|Z|の変化を測定することにより、前記感磁部に印加された前記外部磁界を検知する。

【0030】アスペクト比W/Lが小さくなると、素子幅方向の透磁率μの変化に対するインピーダンスの大きさ|Z|の変化率が大きくなる。すなわち、前記感磁部の両端から引き出される出力電圧の大きさの変化が大きくなり、磁気インピーダンス効果素子の磁界検出感度が向上する。

【0031】また、前記感磁部の素子幅Wと素子長さLの比（アスペクト比）W/Lが、0.05以下であることが好ましく、より好ましくは、前記感磁部の素子幅Wと素子長さLの比（アスペクト比）W/Lが、0.03以下であることである。

【0032】なお、前記感磁部がU字型、つづら折れ状に形成される場合には、前記感磁部の素子長手方向を向いた部位の長さの総和が素子長さLとなる。このときの





【0066】あるいは、本発明の磁気インピンダンス効果素子の製造方法は、(d)非磁性材料からなる基板上に、軟磁性薄膜と前記軟磁性薄膜より比抵抗の低い導電性薄膜を交互に成膜する工程と、(e)前記(d)の工程によって形成された多層膜を、静電場中で熱処理する工程と、(f)前記静電場の方向を素子幅方向とするように、前記多層膜をパターン形成して磁極部を形成する工程と、を有することを特徴とするものである。

【0067】なお、前記(a)または(d)の工程において、前記軟磁性薄膜を前記(e)または(e)の工程における静電場の方向と同じ方向の静電場中で成膜することが好ましい。

【0068】また、前記多層膜の最上層と最下層を前記軟磁性薄膜とし、前記最上層の軟磁性薄膜と前記最下層の軟磁性薄膜とを、少なくとも素子幅方向の両端において磁気的に結合させてもよい。

【0069】また、前記多層膜をパターン形成する際に、前記多層膜の上面にフォトリソグラフィ法を用いて、ウェットエッチング法によって、前記多層膜をエッチングすることにより、上面の素子幅方向が底面の素子幅方向より短い磁極部を形成することが好ましい。

【0070】さらに、前記多層膜を形成するときに、前記軟磁性薄膜と導電性薄膜との間に絶縁層を形成し、前記導電性薄膜のみに接続される電極部を形成する工程を含むことが好ましい。

【0071】磁気インピンダンス効果素子の磁極部を、1MHz〜数百MHzの高周波領域における磁場が強く、磁場定数入が小さい軟磁性特性を備えた強磁性体の薄膜として形成するために、前記(a)または(d)の工程において、前記軟磁性薄膜を以下に示すような微結晶軟磁性合金薄膜として形成することが好ましい。

【0072】1. 組成式が  $\text{Fe}_{0.1}\text{M}_{0.9}\text{O}$  で表され、 $\text{A}$  モル分率を構成する主体とした微結晶軟磁性合金薄膜。

【0073】ただし、 $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、 $\text{h}$ 、 $\text{i}$ 、 $\text{j}$ は $a \leq 1\%$ で、 $4.5 \leq \text{h} \leq 7.0$ 、 $5 \leq \text{i} \leq 3.0$ 、 $10 \leq \text{j} \leq 4.0$ 、 $\text{h} + \text{i} + \text{j} = 10.0$ の関係を満足するもの。

【0074】2. 組成式が  $(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{M}_x\text{O}$  で表される微結晶軟磁性合金薄膜。ただし、元素 $\text{T}$ は、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Ni}$ のうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素 $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{P}$ 、 $\text{C}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{B}$ 、 $\text{Al}$ 、 $\text{Ga}$ 、 $\text{Ge}$ と希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、 $\text{X}$ は、 $\text{Au}$ 、 $\text{Ag}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Ru}$ 、 $\text{Rh}$ 、 $\text{O}$ 、 $\text{Ir}$ 、 $\text{Pt}$ 、 $\text{Pd}$ から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比は、 $c/g$ 、 $0 \leq c \leq 0.7$ 、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $w$ は $a \leq 1\%$ で、 $3 \leq y \leq 3.0$ 、 $0 \leq z \leq 2.0$ 、 $7 \leq w \leq 4.0$ 、 $20 \leq y + z + w \leq 60.0$ の関係を満たし、残部が $x$ であるもの。

【0075】なお、軟磁性合金は、元素 $\text{M}$ の酸化物を多量に含むアモルファス相に、 $\text{Co}$ と元素 $\text{T}$ を主体とする微結晶相が混在し、さらに微結晶相は、元素 $\text{M}$ の酸化物を含まない構造を有するものであるとより好ましい。

【0076】3. 組成式が  $\text{Ti}_{100-d-e-f-g-x}\text{M}_{d+e+f+g}\text{O}$  で表され、 $b \leq c \leq 1$ 、 $d \leq e \leq 1$ 、 $5 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 10$ の関係を満足するもの。

【0077】ただし、元素 $\text{T}$ は、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Co}$ のうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素 $\text{X}$ は、 $\text{S}$ 、 $\text{I}$ 、 $\text{Al}$ のうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素 $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{W}$ から選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素 $\text{Z}$ は、 $\text{C}$ 、 $\text{N}$ のうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、 $\text{Q}$ は、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Re}$ 、 $\text{Ru}$ 、 $\text{Rh}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Pd}$ 、 $\text{Pt}$ 、 $\text{Au}$ から選ばれる1種または2種以上の元素であり、 $d$ 、 $e$ 、 $f$ 、 $g$ は $a \leq 1\%$ で、 $0 \leq d \leq 5$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 10$ の関係を満足するもの。

【0078】4. 組成式が  $\text{Ti}_{100-p-q-r-f-g}\text{S}_{1-p}\text{Al}_{q}\text{M}_{p+q+r+f+g}\text{O}$  で表され、 $b \leq c \leq 1$ 、 $d \leq e \leq 1$ 、 $5 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 10$ の関係を満足するもの。

【0079】ただし、元素 $\text{T}$ は、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Co}$ のうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素 $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{W}$ から選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素 $\text{Z}$ は、 $\text{C}$ 、 $\text{N}$ のうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、 $\text{Q}$ は、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Re}$ 、 $\text{Ru}$ 、 $\text{Rh}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Pd}$ 、 $\text{Pt}$ 、 $\text{Au}$ から選ばれる1種または2種以上の元素であり、 $p$ 、 $q$ 、 $r$ 、 $f$ 、 $g$ は $a \leq 1\%$ で、 $8 \leq p \leq 15$ 、 $0 \leq q \leq 10$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 10$ の関係を満足するもの。

【0080】あるいは、前記(a)、前記(d)または前記(g)の工程において、前記軟磁性薄膜または前記軟磁性薄膜を以下に示すような非晶質軟磁性合金薄膜または薄膜として形成してもよい。

【0081】5. 組成式が  $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{H}_y\text{O}$  で表され、 $\text{A}$  モル分率を構成する主体とした非晶質軟磁性合金薄膜。

【0082】ただし、 $\text{h}$ 、 $\text{i}$ 、 $\text{m}$ 、 $\text{n}$ は $a \leq 1\%$ で、 $70 \leq \text{h} \leq 90$ 、 $5 \leq \text{m} \leq 21$ 、 $6 \leq \text{n} \leq 15$ 、 $1 \leq \text{m}/\text{n} \leq 2.5$ の関係を満足するもの。

【0083】6. 組成式が  $\text{Co}_{a-z}\text{Fe}_b\text{Ni}_c\text{O}$  で表されるアモルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜。

【0084】ただし、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ は $a \leq 1\%$ で、 $78 \leq a \leq 91$ 、 $0 \leq b \leq c \leq 0.8$ の関係を満足するもの。

【0085】また、本発明の磁気インピンダンス効果素子

子の製造方法は、(a)軟磁性材料の溶融合金を冷却回路上に射出させて徐冷急冷することにより軟磁性薄膜を形成する工程と、(h)前記軟磁性薄膜の少なくとも一方の面に前記軟磁性薄膜より比抵抗の低い導電性薄膜を形成する工程と、(i)前記(h)の工程によって形成された軟磁性薄膜を切断し、所定の長さ素子幅 $W$ と素子長さ $L$ の比(アスペクト比)  $W/L$ にパターン形成する工程と、(j)前記(i)の工程によって形成された軟磁性薄膜と導電性薄膜とが交互に積層するよう板の上に軟磁性薄膜と導電性薄膜とを、素子幅方向に重ねる工程と、(k)前記軟磁性薄膜を、素子幅方向の静電場中で熱処理する工程と、を有することを特徴とするものである。

【0086】なお、前記(h)及び(j)の工程において、前記軟磁性薄膜と前記導電性薄膜との間に絶縁層を形成し、また、前記(j)の工程の後、前記導電性薄膜のみに接続される電極部を形成する工程を有することが好ましい。

【0087】また、前記(a)、前記(d)または前記(g)の工程において、前記軟磁性薄膜または前記軟磁性薄膜を、組成式が  $(\text{Fe}_{1-a}\text{Co}_a)\text{O}_{100-x-y}$  ( $\text{Si}_{1-b}\text{B}_b$ )  $x\text{M}_y$  で示される非晶質軟磁性合金薄膜または薄膜として形成してもよい。

【0088】ただし、 $\text{M}$ は  $\text{Cr}$ 、 $\text{Ru}$  のうちいずれか一方、あるいは両方を含む元素であり、組成比を表す $a$ 、 $b$ は  $0.05 \leq a \leq 0.1$ 、 $0.2 \leq b \leq 0.8$  であり、 $x$ 、 $y$ は $a \leq 1\%$ で  $10 \leq x \leq 35$ 、 $0 \leq y \leq 7$  の関係を満足するものである。

【0089】また、磁気インピンダンス効果素子の形成後、前記軟磁性薄膜の素子長方向に、駆動交流電流を与えつつ外周磁路を印加したときに、前記軟磁性薄膜の両端からの出力電圧を最大とする前記外周磁路の大きさの絶対値が  $4.00$  ( $\text{A}/\text{cm}$ ) 以下になるように、素子幅 $W$ と素子長さ $L$ の比(アスペクト比)  $W/L$ を設定して前記磁極部をパターン形成することが好ましい。

【0090】また、前記軟磁性薄膜のアスペクト比を  $0.1$  以下に設定することが好ましい。

【0091】**【発明の実施の形態】** 図1は、本発明の第1の実施の形態の磁気インピンダンス効果素子を示す斜視図である。

【0092】図1の磁気インピンダンス効果素子 $\text{M}$ は、アルミナタンカーバインドなどの非磁性材料からなる基板21上に、軟磁性体部である軟磁性薄膜22、導電体部である導電性薄膜23、及び軟磁性薄膜24が順次積層されて形成された磁極部25、および軟磁性薄膜25の両端部に形成された電極部26、26によって構成されている。磁極部25は、略長方形または線状にパターン形成されている。また、磁極部25はU字形またはジグザグ状に形成されてもよい。

【0093】なお、図1では、電極部26、26が磁極部25の素子長手方向の両端部に形成されているが、電極部26、26は、軟磁性薄膜24の上面の両端部付近上にCuなどの導電性材料を積層して形成されてもよい。

【0094】磁気インピンダンス効果素子 $\text{M}$ に電極部26、26から素子長手方向(Y方向)に駆動交流電流を与え、磁極部25を素子幅方向(X方向)に磁化する。この状態で、外部磁場 $H_{\text{ext}}$ が素子長手方向に印加されると、磁極部25のインピンダンスが変化する。磁極部25のインピンダンス変化を、電極部26、26間の電圧の変化として取り出す。

【0095】ここで、素子長手方向は、駆動交流電流によって発生する境界の磁場方向に対して垂直な方向に一致する。

【0096】また、磁極部25がU字形やつづら折れ形状で形成されているときは、磁極部の中のものとも長い直線部分の延長方向が素子長手方向となり、この方向が駆動交流電流によって発生する境界の磁場方向に対して垂直な方向に一致する。

【0097】なお、磁極部25上に、絶縁材料からなる保護層が形成されてもよい。軟磁性薄膜22、24は、例えば、組成式が  $\text{Fe}_{0.1}\text{Al}_{1.5}\text{Si}_{1.13}\text{Hf}_{1.3}\text{O}$ 、 $4.5\text{Ru}_{1.9}(\text{at}\%)$  で表される、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $5 \sim 30 \text{ nm}$  の微結晶軟磁性合金薄膜である。

【0098】この組成以外の  $\text{T}-\text{X}-\text{M}-\text{Z}-\text{O}$  系(元素 $\text{T}$ は、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Co}$ のうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素 $\text{X}$ は、 $\text{Si}$ 、 $\text{Al}$ の内どちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素 $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{W}$ から選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素 $\text{Z}$ は、 $\text{C}$ 、 $\text{N}$ のうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、 $\text{Q}$ は、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Re}$ 、 $\text{Ru}$ 、 $\text{Rh}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Pd}$ 、 $\text{Pt}$ 、 $\text{Au}$ から選ばれる1種または2種以上の元素)の微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Co}-\text{T}-\text{M}-\text{X}-\text{O}$  系(元素 $\text{T}$ は、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Ni}$ のうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素 $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{P}$ 、 $\text{C}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{B}$ 、 $\text{Al}$ 、 $\text{Ga}$ 、 $\text{Ge}$ と希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、 $\text{X}$ は、 $\text{Au}$ 、 $\text{Ag}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Ru}$ 、 $\text{Rh}$ 、 $\text{Os}$ 、 $\text{Ir}$ 、 $\text{Pt}$ 、 $\text{Pd}$ から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$ 、 $d \leq e \leq 1$ 、 $5 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 10$ の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim 30 \text{ nm}$  の結晶相と $\text{M}$ の酸化物を含有する非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜や、 $\text{Fe}-\text{M}-\text{O}$  系( $\text{M}$ は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{W}$ と希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、 $b \leq c \leq 1$  の関係を満足する平均結晶粒径  $10 \sim$

る平均結晶粒径10～30nmの結晶相とMの酸化物を含む非晶質相からなり、非晶質相が相結全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜として、軟磁性薄膜2.2、2.4が形成されている。以下、

【0099】あるは、 $\text{Fe-Co-Si-B-M}$ 系(Mは、Cr、Ruのうちのいずれか一方あるいは両方を含む元素)の非晶質軟磁性合金薄膜や、 $\text{Co-Ta-H}$ 系の非晶質軟磁性合金薄膜や、 $\text{Co-Zr-Nb}$ 系の非晶質軟磁性合金薄膜として、軟磁性薄膜2.2、2.4が形成されている。以下、

【0100】導電性薄膜2.3は、Cu、Ni、Ti、Crなどの導電性材料により形成される。また、導電性薄膜2.3を形成するために用いる材料は、軟磁性薄膜2.2、2.4より比抵抗の低い材料であれば、どのようなものでもかまわない。例えば、Fe、Coを含む強磁性材料であっても、NiO、CoOなどの反強磁性材料であってもよい。ただし、導電性薄膜2.3を形成するために用いる材料の比抵抗は、軟磁性薄膜2.2、2.4を形成するために用いる材料の比抵抗の1/10以下の比抵抗の材料であることが好ましい。

【0101】本発明の形態では、軟磁性薄膜2.5が軟磁性薄膜2.2、2.4と導電性薄膜2.3とが交互に積層されたものとして形成されている。軟磁性材料よりも比抵抗の低い材料によって形成された導電性薄膜2.3とが接した積造を有している。軟磁性薄膜2.5に駆動交流電流が与えられたときに、この駆動交流電流は軟磁性薄膜2.2、2.4内を流れる電流と導電性薄膜2.3内を流れる電流とに分れて流れる。その結果、前記駆動交流電流が流れるときの軟磁性薄膜2.5の直流抵抗値が低くなり、磁気インピーダンス効果素子の消費電力を小さくすることができる。

【0102】また、軟磁性薄膜2.5が、透磁率の高い軟磁性薄膜2.2、2.4と透磁率の高い導電性薄膜2.3とが接した積造を有しているために、前記軟磁性部内を流れる駆動交流電流の表皮厚さが薄くなり、大きな磁気インピーダンス効果を生じさせることができる。従って、低駆動電圧であっても世界に対する充分な出力電圧の変化量を得ることができる。

【0103】図2は、本発明の第2の実施の形態の磁気インピーダンス効果素子の磁気部断面図である。

【0104】図2の磁気インピーダンス効果素子は、アルミニウムカーバイドなどの非磁性材料からなる基板2.1上に、軟磁性部である軟磁性薄膜3.2、導電性部である導電性薄膜3.3、及び軟磁性薄膜3.4が順次積層されて形成された軟磁性部3.5を有している。本実施の形態では、軟磁性部3.5の、最上層の軟磁性薄膜3.4と最下層の軟磁性薄膜3.2とが、素子幅方向の端部において磁気的に結合されており、軟磁性部3.5に駆動交流電流が流されたときに、軟磁性薄膜3.4と軟磁性薄膜3.2に間に生じた周回磁場が発生させることができる。

性体部である軟磁性薄膜6.2、導電性部である導電性薄膜6.3、軟磁性薄膜6.4、導電性薄膜6.5、軟磁性薄膜6.6が順次積層されて形成された軟磁性部6.7を有した磁気インピーダンス効果素子でもよい。

【0116】なお、最上層の軟磁性薄膜6.6と最下層の軟磁性薄膜6.2とが、素子幅方向の端部において磁気的に結合されている。また、軟磁性部6.7が基板2.1の表面2.1aから露れるにつれて、素子幅方向(Y方向)寸法が徐々に短くなるものとして形成されてもよい。

【0117】図6は、本発明の第6の実施の形態の磁気インピーダンス効果素子の磁気部の断面図である。

【0118】本発明では、必ずしも、軟磁性部の導電性薄膜が、複数の軟磁性薄膜によって挟まれていなくてもよい。

【0119】例えば、図6のように、アルミニウムカーバイドなどの非磁性材料からなる基板2.1上に、軟磁性薄膜7.2及び導電性薄膜7.3のみが順次積層されて形成された軟磁性部7.4を有した磁気インピーダンス効果素子でもよい。

【0120】なお、軟磁性部3.5、4.5、5.5、6.7、及び7.4の両端部に、軟磁性部素子素子長手方向(Y方向)に駆動交流電流を与えるための電極部が、Cu、Ni、Ti、Crなどの導電性材料により形成される。軟磁性部3.5、4.5、5.5、6.7、及び7.4は、略長方形形状または線状にパターン形成されている。または、軟磁性部3.5、4.5、5.5、6.7、及び7.4は、U字形形状またはジグザグ形状に形成されてもよい。

【0121】軟磁性部3.5、4.5、5.5、6.7、及び7.4の素子素子長手方向(Y方向)に駆動交流電流を与え、素子幅方向(X方向)に磁化させる。この状態で、外部磁場Hが素子素子長手方向に印加されると、軟磁性部3.5、4.5、5.5、6.7、及び7.4のインピーダンスが変化する。軟磁性部3.5、4.5、5.5、6.7、及び7.4のインピーダンス変化を、電極部間の電圧の変化として取り出す。

【0122】なお、軟磁性部3.5、4.5、5.5、6.7、及び7.4上に、絶縁材料からなる保護層が形成されてもよい。

【0123】図7は、本発明の第7の実施の形態の磁気インピーダンス効果素子の斜視図であり、図8は、図7の磁気インピーダンス効果素子を8-8線からみた断面図である。

【0124】図7及び図8の磁気インピーダンス効果素子では、アルミニウムカーバイドなどの非磁性材料からなる基板2.1上に、軟磁性薄膜8.1、絶縁性材料からなる絶縁層8.2、導電性薄膜8.3、絶縁層8.4、軟磁性薄膜8.6が順次積層されて軟磁性部8.6が形成されている。

【0125】軟磁性薄膜8.1と導電性薄膜8.3は、絶縁

層8.2によって電気的に絶縁されている。また、導電性薄膜8.3と軟磁性薄膜8.5は、絶縁層8.4によって電気的に絶縁されている。

【0126】軟磁性部8.6の両端部には、導電性薄膜8.3の素子素子長手方向(Y方向)に駆動交流電流を与えるための電極部8.7、8.7が、Cu、Ni、Ti、Crなどの導電性材料により形成される。電極部8.7、8.7は導電性薄膜8.3にのみ接続されている。軟磁性薄膜8.1と電極部8.7、8.7は、絶縁層8.2によって電気的に絶縁されている。また、軟磁性薄膜8.5と電極部8.7、8.7は、絶縁層8.4によって電気的に絶縁されている。従って、駆動交流電流は導電性薄膜8.3の外に流される。

【0127】導電性薄膜8.3の素子素子長手方向(Y方向)に駆動交流電流を与え、素子幅方向(X方向)に磁化させる。この状態で、外部磁場Hが素子素子長手方向に印加されると、軟磁性部8.6のインピーダンスが変化する。軟磁性部8.6のインピーダンス変化を、電極部間の電圧の変化として取り出す。

【0128】駆動交流電流が導電性薄膜8.3の外に流され、軟磁性薄膜8.1、8.5には流されないようにすると、駆動交流電流による磁気インピーダンス効果を生じることができ、より顕著な磁気インピーダンス効果を引き出すことが可能になる。

【0129】軟磁性部8.6は、略長方形形状または線状にパターン形成されている。または、軟磁性部8.6は、U字形形状またはジグザグ形状に形成されてもよい。

【0130】図9は、磁気インピーダンス効果素子の磁気部のアスペクト比と、世界吐出感度の関係を示すグラフである。図9のグラフでは、軟磁性部素子素子長しを4mmまたは6mmに固定し、素子幅Wを変化させることにより、軟磁性部のアスペクト比 $W/L$ を変化させる。図9から明らかになるように、軟磁性部のアスペクト比 $W/L$ が0.1以下になると、磁気インピーダンス効果素子の世界吐出感度が向上することがわかる。特に、軟磁性部の素子素子長し6mmのときには、軟磁性部のアスペクト比 $W/L$ が約0.08以下になると、さらに、急激に磁気インピーダンス効果素子の世界吐出感度が向上することがわかる。

【0131】なお、軟磁性部がU字型、つづら折れ状に形成される場合には、前記軟磁性部の素子素子長手方向を向いた部位の長さの総和が素子素子長しとなる。

【0132】本実施の形態では、軟磁性部2.5は、例えば、素子幅Wを0.10mm、素子素子長しを6mmとして形成されている。このとき、磁気インピーダンス効果素子Mの軟磁性部2.5のアスペクト比は、 $W/L=0.017$ である。

【0133】図1に示された磁気インピーダンス効果素子Mの、素子素子長し6mm、アスペクト比が0.017であると、図9のグラフから、約2.5(mV・m/A) (約200(mV/Oe))もの高感度を有することが

わかる。

【0134】図10は、磁気インピーダンス効果素子の感磁部のアスペクト比(W/L)と、感磁部の両端からの出力電圧を最大とする外部磁界H<sub>ex</sub>の絶対値(H<sub>p</sub>)との関係を示すグラフである。

【0135】図10のグラフから、磁気インピーダンス効果素子の感磁部のアスペクト比(W/L)を小さくすると、感磁部の両端からの出力電圧を最大とする外部磁界の両端からの出力電圧を最大とする外部磁界の大きさの絶対値(H<sub>p</sub>)も小さくなることわかれる。図3のグラフでは、感磁部の素子長さを4mmまたは6mmに固定し、素子幅を変化させることにより感磁部のアスペクト比を変化させている。

【0136】例えば、感磁部の素子長さが6mmのとき、アスペクト比(W/L)を約0.1以下にすると、感磁部の両端からの出力電圧を最大とする外部磁界の大きさの絶対値(H<sub>p</sub>)の値は、320(A/m)(4(Oe))以下になる。また、感磁部の素子長さが4mmのときも、アスペクト比(W/L)を約0.1以下にすると、出力電圧を最大とする外部磁界の大きさの絶対値(H<sub>p</sub>)が、320(A/m)(4(Oe))以下になる。

【0137】また、感磁部の素子長さが6mmのとき、アスペクト比(W/L)を約0.5以下にすると、出力電圧を最大とする外部磁界の大きさの絶対値(H<sub>p</sub>)が160(A/m)(2(Oe))以下になる。

【0138】図11に示された本実施の形態の磁気インピーダンス効果素子Mの感磁部25は、素子長さ6mm、アスペクト比が0.017であるので、図10のグラフから、出力電圧を最大とする外部磁界の大きさの絶対値が、およそ0~24(A/m)(0.3(Oe))の範囲にあることがわかる。

【0139】図11は、本実施の形態の磁気インピーダンス効果素子の磁気インピーダンス効果特性を説明するための概念図である。

【0140】図10の磁気インピーダンス効果素子Mの感磁部26、26から感磁部25の両端部に駆動交流電流を与えた状態で、外部磁界H<sub>ex</sub>を、磁気インピーダンス効果素子Mの素子長手方向に印加する。印加した外部磁界H<sub>ex</sub>の大きさを小さくさせつつ、出力電圧E<sub>mi</sub>を測定すると図11のようなグラフが得られる。

【0141】図11の磁気インピーダンス効果特性を示す概念図は、外部磁界H<sub>ex</sub>の大きさがH<sub>p</sub>あるいはH<sub>p</sub>であるときの出力電圧E<sub>mi</sub>の値を示す点を頂点とする双峰形状をなしている。また、H<sub>p</sub>とH<sub>p</sub>の絶対値の大きさはほとんど等しくおおよそ0~24(A/m)(0.3(Oe))である。

【0142】図11をみると、外部磁界H<sub>ex</sub>の大きさがH<sub>p</sub>またはH<sub>p</sub>に近づくとつれて、出力電圧E<sub>mi</sub>の変化率が大きくなっている。すなわち、外部磁界H<sub>ex</sub>の検出感度は、外部磁界H<sub>ex</sub>の大きさがH<sub>p</sub>または

はH<sub>p</sub>-付近にあるときに良好になる。

【0143】H<sub>p</sub>またはH<sub>p</sub>の大きさの絶対値がおおよそ0~24(A/m)(0.3(Oe))であるとき、外部磁界H<sub>ex</sub>=0付近における外部磁界H<sub>ex</sub>の検出感度を良好にするために、感磁部25の素子長手方向に印加するバイアス磁界の大きさは、例えば、H<sub>B</sub>=0~80(A/m)(1(Oe))であれば充分である。なお、後述する実施例において、磁気インピーダンス効果素子の、実測値に基づいた磁気インピーダンス効果特性のグラフについて説明する。

【0144】なお、H<sub>p</sub>またはH<sub>p</sub>の大きさの絶対値が400(A/m)(5(Oe))以下、好ましくは320(A/m)(4(Oe))以下、より好ましくは160(A/m)(2(Oe))以下、好ましくは80(A/m)(1(Oe))以下であれば、感磁部25の素子長手方向に印加するバイアス磁界の大きさを400(A/m)(5(Oe))以下、好ましくは320(A/m)(4(Oe))以下、より好ましくは160(A/m)(2(Oe))以下にできる。

【0145】感磁部25の素子長手方向に印加する必要なバイアス磁界の大きさを、400(A/m)以下にすることができると、感磁部25の両端に形成された硬磁性材料や、硬磁性材料からなる磁気膜から形成された硬磁性材料や硬磁性材料からなる磁気膜から発生する磁界を、バイアス磁界として用いることが可能になる。

【0146】また、感磁部25の素子長手方向に印加するバイアス磁界の大きさを400(A/m)(5(Oe))以下、好ましくは320(A/m)(4(Oe))以下、より好ましくは160(A/m)(2(Oe))以下にできると、感磁部25にバイアス磁界を与えたために、感磁部25の両端に巻回するコイルの巻回数も少なくなり、磁気インピーダンス効果素子を製造する際の工程を簡略化することができるようになる。また、磁気インピーダンス効果素子Mを磁気ヘッドや微細磁界検出器に適用する際に必要な小型化も容易になる。さらに、バイアス磁界を発生させるためにコイルに与える直流電流も小さくすることができるので、磁気インピーダンス効果素子Mの省電力化も容易になる。

【0147】磁気インピーダンス効果素子の感磁部の素子幅Wと素子長さLの比(アスペクト比)W/Lを小さくしていくと、磁気インピーダンス効果素子の境界検出感度が向上するという効果が得られるのは以下の理由による。

【0148】前記感磁部は高周波数の交流電流によって駆動されるので、表皮効果が強く現れる。このとき、前記感磁部の素子幅W、素子長さL、比形状ρ、動磁率μ、素子幅方向の透磁率μと前記感磁部のインピーダンスの大きさ|Z|との間には、次の(数2)によって示される関係がある。

【0149】

【数2】

$$\text{数 2} \quad |Z| = \left( \frac{L \sqrt{\rho \omega}}{2W} \right) \sqrt{\mu}$$

(数2) から、前記感磁部の素子幅W、素子長さL、比形状ρ、動磁率μを一定としたとき、前記感磁部のインピーダンスの大きさ|Z|は、素子幅方向の透磁率μの1/2乗に比例することがわかる。

【0150】素子長手方向に交流電流が与えられ、素子幅方向に駆動されている前記感磁部の素子長手方向に、外部磁界が印加されると、前記感磁部の素子幅方向の透磁率μが変化し、前記感磁部のインピーダンスの大きさ|Z|が変化する。前記感磁部のインピーダンスの大きさ|Z|の変化を測定することにより、前記感磁部に印加された外部磁界を検知する。

【0151】アスペクト比W/Lが小さくなると、素子幅方向の透磁率μの変化に対するインピーダンスの大きさ|Z|の変化率が大きくなる。すなわち、前記感磁部の両端から引き出される出力電圧の大きさの変化が大きくなり、磁気インピーダンス効果素子の境界検出感度が向上する。

【0152】図12は、磁気インピーダンス効果素子の感磁部を構成する軟磁性薄層の、磁区構造の一例を示す概念平面図である。

【0153】図12では、図1に示された磁気インピーダンス効果素子Mの感磁部25を構成する軟磁性薄層22の、2、24のうち、軟磁性薄層22の磁区構造を示しているが、軟磁性薄層24の磁区構造も、軟磁性薄層22の磁区構造とほぼ同様である。軟磁性薄層22は、静磁場中で形成され、あるいは、異方性の強い軟磁性材料を用いて形成されていることにより、素子幅方向の磁気異方性を持たされている。したがって、素子幅方向に磁気モーメントが配向している磁区22aが形成されている。なお、図12の軟磁性薄層22の素子幅をW1とする。

【0154】一方、形状磁気異方性により軟磁性薄層22の素子長手方向に磁気モーメントが配向している磁区22bが形成される。

【0155】軟磁性薄層22のアスペクト比が大きいと、素子長手方向に磁気モーメントが配向している磁区22bの検出感度、素子幅方向に磁気モーメントが配向している磁区22aの検出感度よりも、著しく低くなる。【0156】図13は、磁気インピーダンス効果素子Mの軟磁性薄層22の磁区構造を示す平面概念図である。

【0157】例えば、軟磁性薄層22の素子幅をW1より小さいW2にすることによって、軟磁性薄層22の7スベクト比を0.1より小さくする。

【0158】図13において、磁区22bは、磁気モーメントの素子長手方向の成分と素子幅方向の成分を比較したとき、前記素子長手方向の成分の大きさが大きい磁区であり、磁区22aは、前記素子幅方向の成分の大きさが大きい磁区である。図13において、磁区22bの検出感

は、図12の磁区22bの検出感度とほとんど変わらず、磁区22aの検出感度は、図12の磁区22aの検出感度より減少し、磁区22aと磁区22bの検出感度が等しくなっている。すると、軟磁性薄層22の全体としての磁気異方性の方向がほぼ等方的な状態になる。

【0159】素子長手方向の成分の大きさが大きい磁区である磁区22bの検出感度と、前記素子幅方向の成分の大きさが大きい磁区である磁区22aの検出感度が低くなる。すなわち、素子幅方向と素子長手方向の磁気異方性の方向が揃ってしまふと、軟磁性薄層22は、磁気異方性の方向が全体としてほぼ等方的な状態になる。つまり、軟磁性薄層22の磁気モーメントはある方向に固定されなくなり、交流電流によって駆動されたときに磁気モーメントの方向を変化させやすくなる。すなわち、軟磁性薄層22の素子幅方向の透磁率μは増加している。

【0160】軟磁性薄層22の素子幅方向の透磁率μが最大値をとるとき、軟磁性薄層22のインピーダンスの大きさが最大となり、軟磁性薄層22の両端からの出力電圧も最大になる。

【0161】図13では、外部磁界を印加していないとき、軟磁性薄層22は磁気異方性の方向が全体として等方的な状態に近い状態にされている。

【0162】従って、軟磁性薄層22の素子長手方向に、外部磁界H<sub>ex</sub>を印加しなくとも、或いはわずかに外部磁界H<sub>ex</sub>を印加するだけで、軟磁性薄層22の磁気異方性の方向を全体としてほぼ等方的な状態にさせ、軟磁性薄層22の素子幅方向の透磁率μを最大にさせることができ、さらに軟磁性薄層22の両端からの出力電圧E<sub>mi</sub>を最大にさせることができる。

【0163】すなわち、駆動交流電流が与えられている軟磁性薄層22に外部磁界H<sub>ex</sub>を印加したときに、軟磁性薄層22からの出力電圧E<sub>mi</sub>を最大とする外部磁界H<sub>ex</sub>の大きさを小さくすることができ、

【0164】なお、軟磁性薄層22が単磁区構造を有し、各磁区において磁気モーメントの素子長手方向の成分と素子幅方向の成分が釣り合っている。

【0165】また、本発明の磁気インピーダンス効果素子は、図14に示されるように、素子長手方向の成分の大きさが大きい磁区である磁区22bの検出感度が、前記素子幅方向の成分の大きさが大きい磁区である磁区22aの検出感度より大きい場合においても、軟磁性薄層22の磁気異方性の方向を全体として等方的な状態に近い状態にすることができ、磁区22bの検出感度と磁区22aの検出感度が拮抗している磁区構造の軟磁性薄層22を有する磁気インピーダンス効果素子と同等の境界検出感度を得ることができる。

【0166】また、本実施の形態の磁気インピーダンス効果素子では、境界検出感度を、少なくとも境界センサとして実用可能な範囲である0.3(mV/m/A)





5. 55. 67. 74. 86を形成した後、感磁部3  
5. 45. 55. 67. 74. 86の素子幅方向に静磁  
場をかける。

【0199】なお、感磁部36、45、65、67、74、86に含まれる軟磁性鋼度を成膜するときに、感磁部の素子層方向となる方向に静磁場をかけてもよい。このように磁場中成膜を行なったときには、成膜後の静磁場の方向に磁場中成膜を省略することが可能である。または、磁場中成膜後に、静磁場中熱処理の代りに回転磁場中、または無磁場中熱処理を行なってもよい。

【0200】また、感磁部25、35、45、55、65、74、86を折れ状に形成してもよい。感磁部25、35、45、55、65、74、86がU字型、つづら折れ状に形成される場合には、感磁部25、35、45、55、65、74、86の素子長方向に向けた部位の長さの総和が素子長さとなる。感磁部25、35、45、55、65、74、86がU字型やつづら折れ形状で形成されているときは、感磁部25、35、45、55、65、74、86の中のものとも異い種別部分の延長方向が素子長方向となり、この方向が駆動電流方向によって発生する磁界の励起方向に対して垂直な方向に一致する。

【0201】感磁部25、35、45、55、67、74、86は、例えば、素子幅Wを0.10mm、素子長さLを6mmとして形成される。このとき、磁気インピーダンス効果素子の感磁部25、35、45、55、67、74、86のアスペクト比は、 $W/L=0.017$ である。

【0202】このとき、柱状インピンダンス効果界子の形成後、感磁部25、35、45、55、67、74、86の素子長手方向に、駆動交流電流を与えつつ外磁界を印加したときに、感磁部25、35、45、55、67、74、86の両端からの出力電圧を最大とする外磁界の大きさの絶対値は、400(A/m)以下にな

[0203] 図部25、35、45、55、67、74、86の成膜を、静電場で行わせることにより、図部25、35、45、55、67、74、86にそれぞれ異なる軟化係数測定の、素子長手方向(X方向)の形状特性及び方形エネルギーと素子幅方向(Y方向)の電気調理性を、図13に示されるように、素子長手方向の成分の方向性、大きい組込面である図区22bの絶縁面が、前記素子幅方向の成分の方が大きい組込面である図区22aの絶縁面を有するもの、あるいは、図14に示す等しい組込構造を有するもの、あるいは、図14に示されるように、素子長手方向の成分の方が大きい組込面である図区22bの絶縁面が、前記素子幅方向の成分の方が大きい組込面である図区22aの絶縁面より大きく組込構造を持つものが得られる。

【0204】図20は、本実施の形態において用いられ

ビームスバツタ装置、または対向ターゲツト式スバツタ装置など既存のものを任意に使用してよい。

【0215】また、本発明における軟化性阻膜、導電性阻膜の成膜方法には、スパッタ法の他に蒸着法、MBE（モレキュラービームエピタキシー）法、ICB（イオンクラスタービーム）法またはメッキ法などを使用してもよい。

【0216】また、磁部25を、軟磁性帯を用いて形成する場合には、例えば、図21に示す法は急冷装置Cを用いる。

【0217】まず、Fe-Co-Si-B系の軟磁性材料が、石英からなるノズル111に投入され、ノズル111の周囲に敷けられたヒータ112により加熱され、溶融される。この溶融合金113をノズルの上部からえらわれた圧力により高速回転している冷却ローラ114上に射出させて連続急冷することにより、軟磁性薄帯115を形成する。

【0218】得られた軟磁性薄膜115を素子層Wと素子裏さしの仕（アスペクト比） $W/L$ が、0.1以下になるように、略長方形に切断する。この軟磁性薄膜115の少なくとも一方の面に、導電性膜層を、スパッタ、蒸着などの方法により形成する。

【0219】次に、基板上に順次前記導性薄膜を積層した軟磁性薄膜を少なくとも2枚以上積層して感磁部を形成した後、この感磁部を素子端方向の許出端で熱処理にかける。

【0220】さらに、前記感出部の両端部に電極部を形成すると、図1のような磁気インピーダンス効果素子が得られる。

【0221】図2から図25は、図1の磁気インピーダンス効果素子の感部25の軟磁性薄膜24をカーボン黒光頭微粒によって被覆し、写真撮影したものの模式図である。

【0222】図222は、巻部225を素子長手方向(X方向)の長さ $L=2mm$ 、素子幅方向(Y方向)の長さ $W=100\mu m$ 、すなわちアスペクト比 $L/W=0.025$ として形成した巻部224の図面構造を示している。また、図23及び図24は、巻部225素子長手方向の長さ $L=4mm$ 、素子幅方向寸法 $W=100\mu m$ 、すなわちアスペクト比 $L/W=0.025$ として形成した巻部224の図面構造を示している。

【0223】図22及び図23では、素子幅方向に磁気モーメントが配向している出区の線面積と、素子長手方向に磁気モーメントが配向している出区の線面積がほぼ等しい状態になっており、素子幅方向と素子長手方向の磁気異方性エネルギーがほぼ等しい状態になっている。向が全体としてほぼ等方的な状態になっている。

【0224】また、図24では、素子長手方向に磁気モーメントが配向している磁区の総面積が、素子幅方向に磁気モーメントが配向している磁区の総面積より大きく

なっている。しかし、素子幅方向と素子長手方向の磁気異方性エネルギーがつり合って、磁気異方性の方向が全  
体としてほぼ等方的な状態になっている。

【0225】つまり、図22から図24に示されたいずれの秋田産地帯24においても、地蔵モメントはある方向に固定されにくくなり、交流電圧によつて励磁されたときに地蔵モメントの位置を変化しやすくなり、また、図25の地蔵モメントの励磁電流は増加しており、地蔵インピーダンスが素子の境界線出感度が大きくなっている。また、図26の25の図解から出力電圧を最大にさせる外部境界の大きさの絶対値を小さくできることができて、必要なバイアス境界の大きさを小さくできる。

【0226】図25は、感磁部を素子長手方向(X方向)の長さ $l=4\text{ mm}$ 、素子短方向(Y方向)の長さ $W=500\text{ }\mu\text{m}$ 、すなわちアスペクト比 $W/l=0.125$ として形成したものの軟磁性薄層24の磁区構造を示している。

【0227】図25では、素子幅方向に磁気モーメントが配向している磁区が大勢を占めており、磁気異方性の方向が素子幅方向を向いている。

【0228】すなわち、感出部の素子層方向の透過率は小さく、磁気インピーダンス効果素子の境界線出感度は小さい。また、感出部の両端からの出力電圧を最大にさせる外部境界の大きさの絶対値も大きく、必要なバイアス境界も大きくなる。

【0229】なお、図222から図225のいずれの感部  
も、F<sub>0</sub> AISI HCRu系の組成を有し、b<sub>00</sub> -  
F<sub>0</sub>の結晶粒を主体とした微結晶軟性合金領域によっ  
て形成され、また感部部の厚厚は4μmで形成されてい  
る。

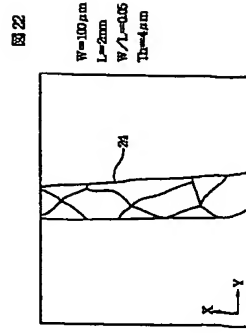
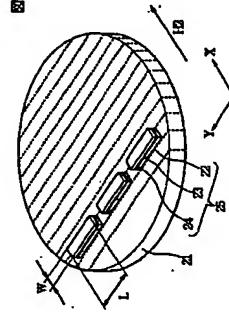
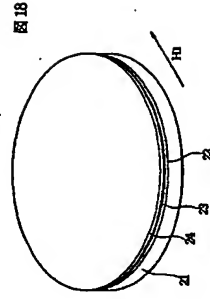
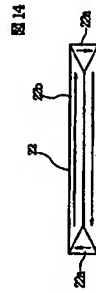
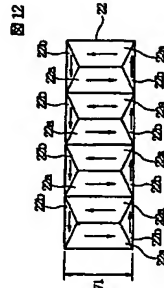
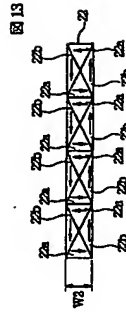
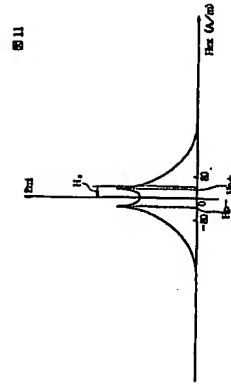
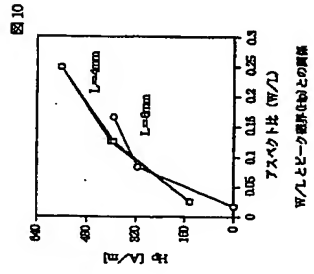
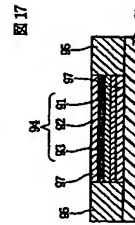
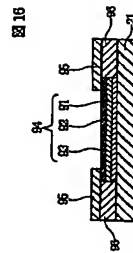
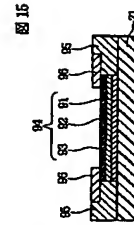
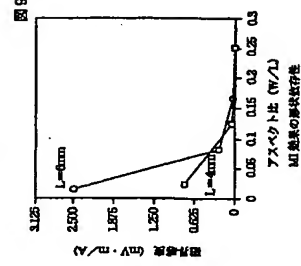
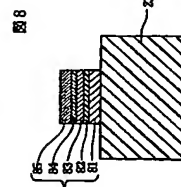
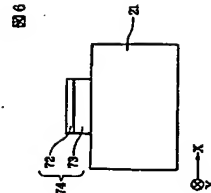
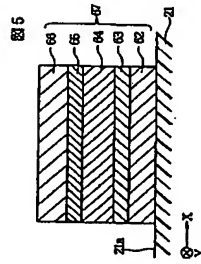
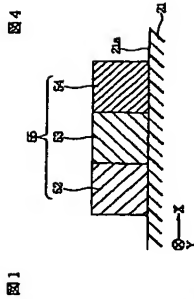
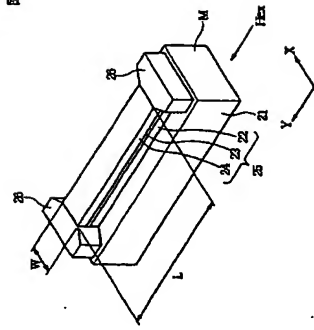
【0230】また、図22から図25では、図1の雄気インピーダンス効果素子の感出部25の最上層の軟磁性薄膜24の凹区構造を示したが、最下層の軟磁性薄膜22も同様の凹区構造を示した。

【0231】  
【実施例】図26及び図27は、図1に示された虫取インピーダンス効果素子を用いて、虫取インピーダンス効果特性を測定した結果を示すグラフである。

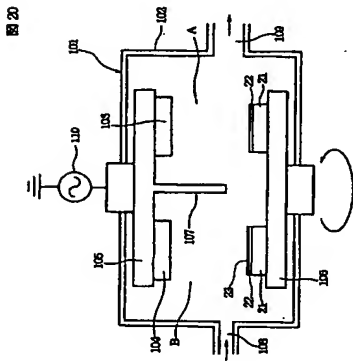
【0232】図26の磁気インピーダンス効果素子Mの電極部26、26から磁石部25の両端部に駆動交流電流を与えた状態、外部磁界 $H_{ex}$ を、磁気インピーダンス効果素子Mの素子長手方向に印加した外磁界 $H_{ex}$ の大きさを変化させつ、出力電圧 $E_{mi}$ を測定した。

【0233】図26は、磁延層をF<sub>0.5</sub>AlSiHfCR<sub>0.5</sub>系の組成を有し、bcc-F<sub>0</sub>の結晶粒を主体とした熱塑性軟磁性合金薄膜によって形成し、磁延層25の素子長手方向の厚さを4mm、厚さを4μmとし、素子層方向寸法を最大化させたときの結果である。

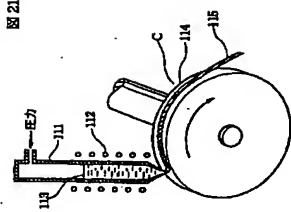




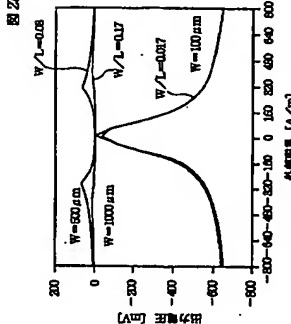
【図20】



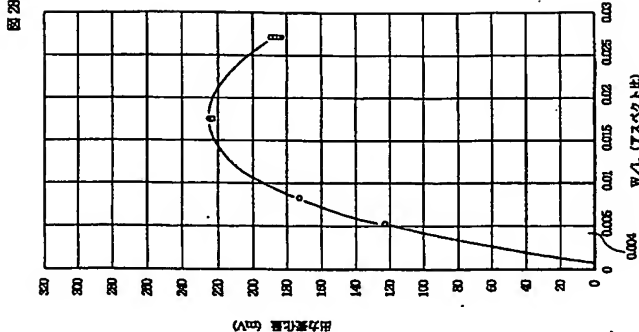
【図21】



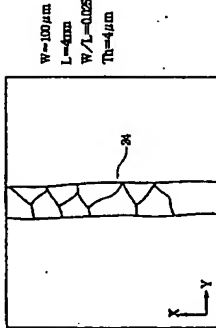
【図27】



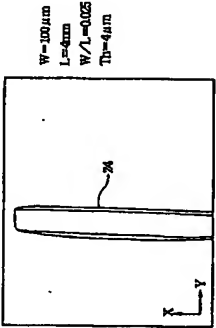
【図28】



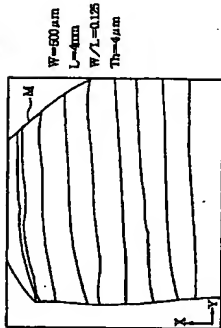
【図23】



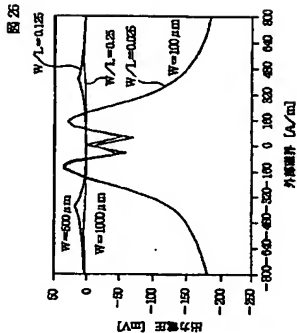
【図24】



【図25】



【図26】



【図30】

